

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 687 091

(21) N° d'enregistrement national :

92 01339

(51) Int Cl⁵ : B 26 D 5/34

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 06.02.92.

(30) Priorité :

(71) Demandeur(s) : *Société Anonyme dite :*
AEROSPATIALE SOCIÉTÉ NATIONALE
INDUSTRIELLE — FR.

(72) Inventeur(s) : Valesio Jacques et Quillacq Patrick.

(43) Date de la mise à disposition du public de la
demande : 13.08.93 Bulletin 93/32.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de
recherche : *Se reporter à la fin du présent fascicule.*

(60) Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire : Rinuy Santarelli.

(54) Procédé de contrôle automatisé des découpes effectuées par une machine de découpage dans un ruban.

(57) Le contrôle de découpes successives au moins approximativement polygonales réalisées dans un ruban à partir de découpes théoriques successives comporte, dans un champ traversé par le ruban en cours de défilement: une acquisition d'images, une binarisation de celle-ci, une extraction de contour par codage de FREEMAN puis une approximation polygonale. On vectorise ensuite les segments de cette approximation polygonale et on compare les successions des angles entre segments successifs aux successions d'angles des découpes théoriques de même identification. De préférence, on procède également à une discrimination des approximations polygonales par un réseau de neurones ayant suivi un apprentissage avec des approximations polygonales de découpes avec/et sans défauts.

BEST AVAILABLE COPY

FR 2 687 091 - A1



sont avantageusement conduites indépendamment l'une de l'autre.

C'est ainsi que les Société GOLDWORTHY ENGINEERING INC. et FOREST-LINE ont mis au point :

5 - une machine de découpage citée ci-dessus connue sous la marque "ACCESS", ce qui est l'acronyme de : Advanced Composite Cassette Edit/Shear System, et

 - une machine de dépose connue sous la marque "ATLAS", ce qui est l'acronyme de : Advanced Tape LAYing
10 System.

Pour tirer un parti optimum de cette machine à draper (MAD en abrégé) en deux unités, la Société AEROSPATIALE a conçu et développé un logiciel connu sous l'appellation PAOMAD, ce qui est l'acronyme de Programmation
15 Assistée par Ordinateur de la Machine A Draper, utilisé depuis 1985 en ses locaux.

Un système de conception assistée par ordinateur (CAO) permet de développer une surface aérodynamique dans un plan puis de définir des couches unidirectionnelles propres
20 à reconstituer après drapage sur des surfaces gauches la surface voulue. Dans le domaine de l'aéronautique, la Société a élaboré un système de type CADCAM, connu sous l'appellation AEROLIS, qui assure notamment ces opérations de développement de surfaces, et qui, en collaboration avec le logiciel
25 COMPUTER VISION de PRIME, assure cette phase de conception. Ce système AEROLIS comporte un interface au standard SET lui permettant de communiquer avec PAOMAD.

Les activités dont PAOMAD assure l'automatisation dans le cas de la machine à draper sont :

- 30 - la détermination des découpes,
 - la préparation de la découpe et du drapage : programmation C.N., rédaction des fiches d'instruction, calcul des temps,
 - le calcul des besoin matières.

Les modules fonctionnels de PAOMAD sont schématisés à la figure 1.
35

Grâce au module "Mise en bande des découpes" la pièce est décomposée automatiquement en paquets (ensemble de couches), puis en modules (sous ensemble de paquets). Les géométries de découpe sont alors automatiquement mises en bandes dans les différentes largeurs de ruban et dans l'ordre inverse de drapage.

Dans le cas du drapage sur une surface développable simple (plan, cylindre...), les trajectoires sont calculées par PAOMAD (module "Calcul des trajectoires de drapage").

Dans le cas d'une surface complexe, elles sont calculées par le module de mise à plat du système C.A.O. interfacé avec PAOMAD au standard S.E.T.

A partir des trajectoires et de la mise en bandes des découpes, les programmes de commande numérique (C.N. en abrégé) sont générés automatiquement à l'aide de deux post-processeurs intégrés à PAOMAD. Le transfert vers les unités de la machine à draper se fait alors par D.N.C., c'est-à-dire en anglais par "Direct Numerical Command".

Les fonctions assurées par le module "Simulation" sont :

- simuler le drapage : la vérification que la programmation d'une pièce peut s'effectuer en simulant l'opération de dépose. La représentation graphique de cette simulation permet à l'opérateur de contrôler visuellement sa programmation,
- calculer les consommations matières,
- calculer les temps.

Le document US-A-5.006.990 propose une variante quant à la conception théorique de pièces composites et à la détermination des couches et découpes à réaliser, indépendamment de l'exécution même de ces découpes et de leur dépose.

L'invention se préoccupe tout particulièrement de l'opération de découpe, de sorte que les étapes de conception et de détermination du dessin des diverses découpes à

- on acquiert une succession d'images d'un champ englobant toute la largeur du ruban, avec une fréquence telle que deux images successives englobent des zones du ruban en défilement se recouvrant partiellement,
- 5 - on binarise l'image en associant à chaque point l'une des deux valeurs selon que sa luminance est supérieure ou inférieure à un seuil,
- on applique à cette image binarisée une extraction de contour par codage de FREEMAN,
- 10 - on identifie chaque contour,
- on sépare l'image en autant de fenêtres de traitement qu'il y a de contours fermés ou non,
- on effectue une approximation polygonale de chaque contour fermé ou non,
- 15 - on vectorise chaque segment de l'approximation polygonale en déterminant au moins l'angle entre deux segments successifs,
- on compare la succession des angles mesurés dans l'approximation polygonale à la succession des angles d'une approximation polygonale de la découpe théorique de même identification,
- 20 - on détecte un défaut si l'on ne trouve pas la succession d'angles mesurés dans la succession des angles de l'approximation polygonale de la découpe théorique de même identification,
- 25

La solution proposée est un système de vision assistée par ordinateur qui détecte en temps réel les défauts inhérents à chaque découpe, et qui le cas échéant prévient un opérateur, pour une relance manuelle. Ce système se substitue

30 au contrôle visuel humain, par l'acquisition, le traitement et l'interprétation des images des découpes. Les avantages de ce dispositif sont l'autonomie de la machine, une fiabilité accrue par rapport au contrôle humain, et donc l'automatisation du contrôle.

35 Le système de vision comprend une caméra (par exemple PULNIX TM765) avec un capteur matriciel CCD (dispo-

distance du recul du ruban.

Cette méthode de comparaison fonctionne bien pour des découpes de forme polygonale simple. Elle est par contre beaucoup moins efficace lorsque la géométrie des découpes comporte des courbures telles que des arcs de cercle, des portions d'ellipse Ceci s'explique par le fait que l'approximation polygonale des parties courbes est différente de l'approximation des courbures par le système de CAO. La conséquence est que le système détecte toujours dans ce cas des défauts.

C'est pourquoi, dans ce cas de découpes en partie courbes, parallèlement à l'approche structurale de reconnaissance de défauts, peut intervenir une méthode de reconnaissance par réseaux de neurones. Cette approche est basée sur la modélisation informatique du système nerveux humain. Elle s'appuie sur la notion d'apprentissage par renforcement ou diminution des poids aux connexions entre neurones en fonction de leur utilisation. La première phase, dite d'apprentissage, consiste à donner au réseau des découpes représentatives avec et sans défaut, en proportion équilibrée : le réseau "apprend". Lors de la deuxième phase, dite de classification, le réseau reconnaît des découpes inconnues, grâce à sa capacité de généralisation.

Le couplage de la méthode de comparaison avec celle des réseaux neuronaux, grâce à des règles de décision, forme un système hybride qui fournit des résultats pertinents, quelle que soit la géométrie de la découpe, très supérieurs à ceux obtenus par chacune des deux méthodes prise séparément.

Selon des dispositions préférées du procédé de l'invention éventuellement combinées :

- en outre :
- . on réalise un réseau de neurones à N entrées, à trois couches et à une sortie,
- .. on conduit un apprentissage de ce réseau de neurones à l'aide d'un ensemble de découpes sans défauts, et d'un

successifs dont l'écart angulaire est inférieur à un seuil prédéterminé.

Des objets, caractéristiques et avantages de l'invention ressortent de la description qui suit, donnée à titre d'exemple non limitatif, en regard des dessins annexés sur lesquels :

- 10 - la figure 1 est un schéma de principe connu du processus conduisant d'une surface de base à réaliser aux programmes de commande numérique destinés respectivement à une machine de découpe, et à une machine de dépose, et faisant apparaître les modules fonctionnels de PAOMAD,
- la figure 2 est un schéma de principe d'une machine de découpe, comportant un dispositif de contrôle de découpe conforme à l'invention,
- 15 - les figures 3A à 3D représentent des exemples de défauts à détecter,
- la figure 4 est une représentation de type SADT de l'opération de drapage,
- la figure 5 est une représentation de type SADT de l'opération de contrôle que comporte l'opération de drapage,
- 20 - la figure 6 est un schéma de l'architecture d'acquisition et de traitement d'image,
- la figure 7 est un exemple de portion de contour,
- 25 - la figure 8 est une représentation d'un codage de FREEMAN de connexité d'ordre 8,
- la figure 9 est une vue schématique des éléments du système de contrôle destinés à scruter la bande en cours de défilement,
- 30 - la figure 10 est une vue schématique d'une image contenant deux fenêtres de traitement,
- la figure 11 est une vue d'une découpe entièrement contenue dans l'image,
- 35 - la figure 12 est une vue de la découpe de la figure 11, incomplètement contenue dans l'image,

machine, permet un système de dévidage-enroulement continu.

Le ruban 2 et les séparateurs 3 et 4 passent sur des plaques de guidage 7, et sont amenés dans la zone de découpage. Les deux séparateurs sont alors enlevés et
5 récupérés séparément dans des cassettes de rangement 8 et 9. Le ruban en carbone, pré-imprégné est découpé par deux couteaux 10 et 11 en carbure, qui sont indépendants entre eux. Chacun peut se déplacer suivant une direction perpendiculaire à la direction d'avancement du ruban, et pivoter
10 autour de son axe principal. C'est la combinaison de ces mouvements et de l'avancement du ruban qui permet de réaliser des découpes de forme géométrique complexe, bien que le ruban ne se déplace que dans un seul sens. Le découpage peut se faire grâce à un mouvement oscillatoire très rapide des
15 couteaux, de bas en haut. A ces couteaux sont associés des couteaux 12 et 13 formant enclume.

Lorsque le découpage est terminé, la découpe est remplacée entre deux nouveaux séparateurs (papier 13 dans la bobine repérée 14 et feuille transparente 15 dans la bobine
20 repérée 16), dans le dispositif d'entraînement aval, et stockée dans la bobine de récupération 6. Chaque découpe est espacée de la précédente d'une distance fixée préalablement, cet espacement étant rendu possible par un mouvement relatif du dispositif d'entraînement aval par rapport au dispositif
25 d'entraînement amont.

Lorsque le profil avant d'une découpe est différent du profil arrière de la découpe précédente, une chute est formée et évacuée ; elle est sélectionnée par la descente d'un sabot 17 par exemple à action mécanique, ici en
30 deux parties, prise entre deux bandes et dirigée vers une cassette de rangement 18. Cette descente du sabot provoque une tension des bandes. Pour alléger cette tension, la machine effectue un léger recul du ruban de 3 mm puis un avancement de 4 mm, à vitesse constante.

35 Chaque découpe est marquée automatiquement par un poinçon 19 ; cette marque ici dans la feuille transparente

sitions d'images.

L'objet à analyser est donc une découpe en forme polygonale effectuée dans un rouleau de nappe composite de largeur fixée, pouvant avoir une géométrie convexe, concave ou complexe. Il est intéressant de noter que les contours intérieurs (trous) ne sont pas pris en considération.

A titre d'exemple : il existe quatre largeurs de ruban de matière composite : 25 mm, 50 mm, 75 mm, 150 mm.

- La largeur du ruban est contrôlée par prélèvement avant le montage sur ACCESS.

- La tolérance sur la largeur est de $+0 -0,5$ mm.

- L'épaisseur de la bande de carbone est comprise entre 127 et 200 micromètres.

- La longueur maximum d'une découpe est de 8 mètres. Théoriquement, elle est illimitée.

- La longueur minimum d'une découpe est de 45 mm.

- La largeur minimum de carbone à sélectionner est de 5 mm.

- La distance minimum entre le profil avant et le profil arrière est de 15 mm.

- La distance minimum entre deux découpes consécutives est de 25 mm, sans évacuation des chutes. Cette distance peut être plus importante, elle varie suivant la longueur des découpes. Le calcul de cette distance est effectué par le post-processeur.

- La longueur minimum de segments parallèles à la fibre est de 15 mm.

- L'angle minimum entre deux segments adjacents est de 10° . Si l'angle est inférieur à 10° , alors la pointe est tronquée à 5 mm.

- La réalisation de plus de deux segments simultanément n'est pas réalisable : il n'y a que deux couteaux, et le ruban ne recule pas.

Les défauts à repérer peuvent être classés en trois catégories (voir figures 3A à 3D) :

a). Les concours bizarres (figures 3C et 3D) :

Ce sont des accidents sur la géométrie externe de la

mm par pixel. Par contre on dispose de beaucoup moins de temps pour les traitements.

Rigoureusement, on pourrait parler de temps réel, si le contrôle de la découpe et le poinçonnage du support transparent pouvait se faire avant le début de la découpe
5 suivante. Cela est impossible sur la machine ACCESS, étant donné la position des outils et l'organisation des différents éléments servant de guidage.

Le système de contrôle devra être installé sur la
10 partie ultime du parcours de la découpe, avant l'enroulement, puisque les guides du ruban peuvent aussi engendrer des déformations.

En fait, devant l'insolubilité de ce problème, on se limitera à reconnaître les défauts d'une découpe seulement
15 lorsque d'autres auront déjà été usinées (partiellement ou totalement).

La figure 4 situe l'étape de contrôle dans une opération de drapage définie par sa représentation de type SADT classique (SADT est l'acronyme de Structured Analysis
20 and Design Technic) où les opérations, ainsi qu'on le sait, sont figurées par des rectangles recevant par la gauche des entrées, et d'où partent à droite des sorties, ces opérations devant satisfaire des contraintes figurées au dessus, à l'aide de moyens figurés en dessous.

Les termes figurant sur ce diagramme sont définis
25 comme suit :

- Draper : désigne la réalisation d'une voilure par application de découpes en matériau composite, sur un outillage. Elle comporte la phase de préparation des découpes, de
30 contrôle par vision, et de dépose de ces découpes.

- Bobine matière première : cassette contenant la nappe composite servant au drapage.

- Fichier géométrie B.E. : informations issues du bureau d'étude qui concernent la géométrie des découpes et le sens
35 des fibres.

- Paramètres machine : informations sur différentes données

- PAOMAD : logiciel de décomposition en découpes, optimisées par couches, de voilures d'avion. Génération du programme informatique qui pilotera la commande numérique.
 - Procédure de relance : en cas de mauvaise découpe, l'apparition de défauts entraîne une ré-exécution du découpage de la nappe composite. Plusieurs manipulations sont à effectuer par le spécialiste afin de ne recommencer que les mauvaises découpes.
 - Qualité : précision dans la sélection des découpes avec défauts parmi celles sans défauts.
 - Signal mauvaise découpe : information spécifiant à l'opérateur que la découpe numéro n comporte des défauts.
 - Bobine chute : cassette contenant les déchets de matière première après le découpage des pièces par la machine ACCESS.
- 15 L'opération de contrôle visée par l'invention est elle-même explicitée à la figure 5 par sa représentation de type SADT, avec les définitions additionnelles suivantes :
- Acquérir l'image : opération de conversion d'un signal analogique issu d'un capteur en données numériques.
 - Traiter l'image : opération destinée à transformer l'information afin de pouvoir l'exploiter plus aisément dans la phase d'analyse.
 - Analyser l'image : consiste à retirer une information pertinente de l'image, en vue d'une décision.
 - Corriger les défauts : prise en charge par l'opérateur de la reprise des découpes mauvaises.
 - Défilement : contrainte de rapidité de déplacement de l'objet sous l'oeil de la caméra.
 - Eclairage : Contrainte des conditions de visualisation de l'objet sur la scène : pose des problèmes de réflexions et de réglage de l'ouverture du diaphragme de la caméra.
 - Interface utilisateur : contrainte imposée sur le système de vision pour signaler une erreur ou un autre message à l'opérateur. Notion d'ergonomie.
- 35 Ces opérations d'acquisition d'image, de traitement, d'analyse ou d'interprétation, et de correction

consommant (traitement + interprétation) un temps suffisamment faible pour permettre la détection des défauts éventuels en temps réel. Il faut donc procéder à une compression importante des informations puisque chaque image au départ,
5 formée de 256 x 256 points ayant une luminance définie sur 8 bits, représente 524.588 bits d'information. Cette compression découle de ce que l'on s'intéresse seulement à la silhouette des découpes.

Une première étape de traitement consiste à
10 binariser l'image en comparant la luminance de chaque point à un seuil de discrimination. Il n'y a plus alors qu'un seul bit d'information par point (luminance inférieure ou supérieure au seuil). Une telle binarisation est tout à fait significative compte tenu du bon contraste entre les découpes
15 de carbone et leur papier de support. On n'a plus alors que 256 x 256 bits d'informations.

La suite du traitement consiste en un suivi de contours. On commence à balayer l'image jusqu'à trouver un point de luminance égale à celle de la découpe (luminance
20 minimale dans le cas considéré ici de découpes noires sur fond blanc) puis on explore les points situés autour de ce point de départ dans un sens donné (en pratique le sens trigonométrique) et on sélectionne le premier qui prend la valeur de la luminance de la découpe. On explore ensuite les
25 points situés autour du point sélectionné, et ainsi de suite jusqu'à revenir au point de départ.

Ce processus est effectué dans toute l'image pour suivre les contours de toutes les zones noires séparées visibles dans l'image.

30 La discrimination des diverses découpes ou portions de découpes comprises dans l'image se fait grâce à un découpage de l'image binarisée en bandes verticales, par la lecture de colonnes de pixels. Il existe une contrainte quant à la distance qui sépare deux colonnes de pixels. La
35 distance entre deux colonnes doit être inférieure à la distance qui sépare deux découpes et inférieure à la taille

On procède ensuite à l'approximation polygonale du contour considéré, par la méthode recursive connue sous l'appellation de "méthode de la corde".

En simplifiant, elle consiste à choisir a priori
5 deux points A et B de la courbe à approximer ; si tous les points de la courbe entre A et B ont une distance à la corde AB qui est inférieure à une valeur de seuil fixée à l'avance, alors cette corde est validée, sinon on repère le point P de la courbe le plus éloigné de la corde AB et on réitère le
10 processus avec le couple de points AP puis PB, et ainsi de suite. Pour déterminer les points A et B au démarrage, on détermine le rectangle qui circonscrit une découpe. Les points A et B se situent toujours dans les portions de contour qui sont contigues aux petits côtés du rectangle. Si
15 les petits côtés du rectangle se trouvent en position horizontale, le point A est alors le point du contour de la découpe situé le plus à gauche sur un petit côté ; le point B est le point du contour de la découpe situé le plus à droite sur l'autre petit côté. Si les petits côtés du rectangle se trouvent en position verticale, le point A est
20 alors le point du contour de la découpe situé le plus en haut sur le petit côté ; le point B est le point du contour de la découpe situé le plus en bas sur l'autre petit côté. Le réglage du seuil est d'une grande importance puisqu'il influe
25 directement sur le nombre de segments. Cette valeur de seuil est par exemple choisie en sorte d'avoir un nombre total de segments dans le contour inférieur ou égal à 128.

A partir des coordonnées des sommets de polygone identifiés par l'approche polygonale, on effectue une phase
30 de vectorisation consistant à calculer la longueur de chaque côté ou segment de polygone, ainsi que l'angle formé entre deux segments successifs (à partir des longueurs de ces segments, et des produits scalaire et vectoriel des vecteurs que constituent ces segments).

35 De manière avantageuse, on procède enfin à une opération de nettoyage visant à supprimer d'éventuels sommets

le téléchargement d'applications à partir du micro-ordinateur pour les exécuter en autonomie complète. Les ordres de téléchargement, d'exécution et d'arrêt sont indépendants entre eux et peuvent donc être envoyés de n'importe où dans le programme de l'application. La caméra reliée à SUPERCAM (pour le comptage des découpes) et la caméra reliée au micro-ordinateur (pour l'analyse des défauts) sont calibrées de manière à intégrer la même image dans les deux capteurs. Le comptage des découpes par SUPERCAM (un programme de comptage a été téléchargé) est réalisé par la lecture et l'analyse de deux colonnes de pixels 50 sur l'image, afin de simuler une hystérésis mécanique. C'est le passage des découpes à l'endroit où s'effectue la lecture des colonnes 50 dans le champ de l'image qui augmente la valeur de comptage.

La distance entre les deux lignes est inférieure à l'écart entre deux découpes consécutives mais suffisante pour que le recul du ruban (mentionné à propos de la figure 2) ne perturbe pas le comptage.

Ainsi, la caméra SUPERCAM connaît à tout instant le numéro de la découpe près du bord le plus à droite sur la figure 9. Une liaison parallèle est prévue pour le transfert de cette donnée vers le système de traitement d'image. Comme on connaît aussi le nombre de découpes ou portions de découpe dans l'image, on peut donc accéder aux informations théoriques correspondant à ces diverses découpes ou portions de découpe.

L'idée de base de la comparaison découle de la décomposition préalable de l'ensemble de l'image en plusieurs sous-ensembles ne contenant chacun qu'une seule découpe ou portion de découpe (voir ci-dessus et figure 10), puis de rechercher la suite d'angles mesurés dans celle théorique qui définit la découpe. Il est inutile de tenir compte de l'information distance puisque, comme cela a déjà été précisé, on ne désire pas faire de contrôle dimensionnel. En outre, les angles sont invariants aux rotations.

2°/ si $|f| = |u|$ alors $f = u$ et $g = v$

3°/ si $|f| < |u|$ alors $u = f.h$ et $g = h.v$

En outre, si $f \in A^*$, on définit :

$\emptyset(f) = \{\text{ensemble des facteurs gauche et droit distincts}\}$

5 $= \{s \text{ tq } g \text{ facteur gauche de } f \text{ et } g \text{ facteur droit de } f \text{ strict}\}$

$\varphi(f)$ est le plus grand mot de $\emptyset(f)$

Première propriété :

$\emptyset(f) = \{\varphi(f) \cup \emptyset(\varphi(f))\}$

Deuxième propriété :

10 $\emptyset(f) > \emptyset(\varphi(f)) > \emptyset(\varphi^k(f)) > \emptyset$

Troisième propriété :

$\varphi(f), \varphi^2(f), \dots, \varphi^k(f), \varepsilon$ ordre préfixé

$\bigcup^k \varphi^k(f) = \emptyset(f)$

Quatrième propriété :

15 $w \in \emptyset(f) \Leftrightarrow \exists k \text{ tq } w = \varphi^k(f)$

Suite à ces définitions, on se pose le problème suivant :

Comment calculer $\varphi(f.a)$? $f \in A^*$ et $a \in A$

Pour cela, plusieurs formes d'expression de la solution sont possibles :

20 1ère forme :

$\varphi(f.a) = \{u.a \text{ ou } u \text{ est le plus grand mot de } \emptyset(f) \text{ tq } u.a \text{ est facteur gauche de } f, \text{ sinon } \varepsilon\}$

2ème forme :

$\varphi(f.a) = \{ 1/ u.a \text{ tq } u \in \emptyset(f)$

25 $2/ \text{ la lettre à la position } |u|+1 \text{ est un } a$

$3/ \text{ c'est le plus grand vérifiant } 1/ \text{ et } 2/$

$\text{sinon } \varepsilon\}$

3ème forme :

$\varphi(f.a) = \{\varphi^k(f).a \text{ où } k \text{ est le plus petit entier tq la lettre}$

30 $\text{à la position } |\varphi^k(f)|+1 \text{ soit un } a, \text{ sinon } \varepsilon\}$

Notations :

soit une fonction $Y : [1, n] \rightarrow [0, n-1]$

soit $f = a_1 a_2 a_3 \dots a_n$

$f \rightarrow i$

35 $\varphi \downarrow \quad \downarrow \Psi$

$\varphi(f) \rightarrow j$

découpe est estimée incorrecte.

De manière préférée en parallèle sur la stratégie de contrôle utilisant la vectorisation des contours polygonaux puis la comparaison des angles mesurés aux angles théoriques, on applique une stratégie de contrôle par réseaux de neurones. Cette technique, comme on le sait, consiste à simuler sur ordinateur les connexions entre les cellules nerveuses biologiques (on peut se référer notamment à DAVALO E., NAIM P., des réseaux de neurones, EYROLLES PARIS, 1989, ou encore à LE CUN Yann., Modèle connexionniste de l'apprentissage, thèse de doctorat d'Etat, Informatique et Système, 1987, Université Paris 6).

La particularité des réseaux de neurones artificiels est leur capacité d'apprentissage grâce à des éléments représentatifs des diverses classes d'éléments à discriminer. Par la suite un élément inconnu pourra être rangé dans une des classes, sous réserve d'avoir pu faire converger le réseau lors de l'apprentissage.

Quelques rappels sont présentés dans ce qui suit

La figure 14 est une représentation schématique d'un neurone formel (ou artificiel) tandis que la figure 15 est une représentation schématique d'un réseau de neurones à plusieurs couches.

Un neurone formel se définit par :

- la nature de ses entrées e_i avec i variant de 1 à n ,
- la fonction d'entrée totale h ,
- la fonction d'activation f ,
- la fonction de sortie g
- la nature des sorties unique ou multiple.

A chaque entrée est appliqué un paramètre de pondération, ou poids, caractérisant les liaisons entre neurones.

L'entrée totale E est définie par $h(e_1, \dots, e_n)$; l'état du neurone est donné par $A = f(E)$ et la sortie du neurone est donnée par $S = g(A)$.

désirée. C'est la somme quadratique des erreurs sur la cellule de sortie : $\text{erreur} = \sum_h (\Delta^h)^2$

L'erreur que l'on cherche à minimiser est fonction des poids. Elle est ensuite rétro-propagée dans le réseau, pour modifier chaque poids. Ceci est répété pour tous les exemples, et si l'erreur est inférieure à un seuil fixé à l'avance, alors on considère que le réseau a convergé.

Si on formalise ces propos :

soit $X (x_1 \dots, x_n)$ un élément à n entrées

10 soit $Y (y_1 \dots, y_m)$ un élément à m sorties désirées

soit $S (s_1 \dots, s_m)$ un élément à m sorties réelles

alors $E(W) = \sum_{i=1}^m (y_i - s_i)^2$

La règle de modification des poids pour l'exemple X présenté la $k^{\text{ième}}$ fois est :

15 $W_{ij}(k) = W_{ij}(k-1) - e(k) \cdot d_i \cdot O_j$

où d_i est calculé de proche en proche de la couche de sortie vers la couche d'entrée.

a - pour la couche de sortie : $d_i = 2 \cdot (s_i - y_i) \cdot f(I_i)$

b - pour les couches internes $d_i = \sum_h d_h \cdot W_{hi} \cdot f(I_i)$

20 avec h parcourant les neurones vers lesquels le neurone i envoie une connexion

f est la fonction sigmoïde

O_j désigne la sortie du neurone j

I_i désigne l'entrée du neurone i $I_i = \sum_j W_{ij} O_j$

25 $e(k)$ désigne le pas du gradient.

L'algorithme de rétro propagation mis en oeuvre selon l'invention a été fondé sur les choix suivants.

Pour ce qui est des données en entrée pour le réseau, elles sont bien sûr déduites des données fournies par l'approximation polygonale. Plutôt que de choisir les longueurs de segments et/ou les angles, ou encore l'abscisse curviligne, il a été choisi de déterminer à partir des coordonnées, l'abscisse curviligne et de passer dans le domaine spectral. En effet une transformation de FOURIER discrète permet de disposer d'une suite de coefficients calculés par la formule suivante :

30

35

n fois, pour des positions légèrement décalées. Le temps global a alors été mesuré, puis divisé par n pour en déduire le temps d'analyse d'une image. La première manipulation a consisté à déterminer n, afin de ne plus subir l'influence de l'horloge de PC, dont la durée du top est de l'ordre de 55 ms. Ceci a été approché intuitivement lorsque le temps d'analyse d'une image n'a plus varié à partir d'un n donné. Dans notre cas, il a semblé que 100 était une valeur qui respectait cette contrainte. Dans tout ce qui suit, cette valeur constitue le nombre de boucles de traitement.

Les images analysées dans le cadre de cette partie ont toutes eu les mêmes dimensions :

- 270 mm pour l'axe de x
- 160 mm pour l'axe des y

Les découpes testées sont représentées aux figures 18-1 à 18-18 ; elles sont sans défaut. Les résultats ont été reportés dans le tableau 1.

La première conclusion que l'on peut en tirer est la totale inefficacité de l'algorithme à traiter les découpes avec courbures. La cause de cet échec est l'approximation polygonale, car le nombre de segments trouvés est différent de celui de la découpe théorique, ceci implique alors toujours la détection d'un défaut. En tenant compte de cette lacune, le taux de fausse alarme est de 12,5 %. Par contre, si on ne considère pas les découpes avec courbures, le taux descend à 1,36 %. Le système se révèle donc être très efficace dans ce cas.

La deuxième conclusion concerne les temps d'exécution : le temps moyen de rapidité d'analyse est de 0,47 s. Si l'on exclue les cas où un défaut a été rencontré, la rapidité se chiffre à 0,43 s.

Or pour une image de 270*160 le temps imparti d'analyse (avec la contrainte de vitesse maximum 30 m/min) est de 0,54 s. On peut donc en conclure que l'on respecte cette contrainte du cahier des charges et que l'on peut réduire encore le champ d'inspection, pour augmenter la

- le taux de fausse alarme pour des découpes sans défauts a été de 13,6 %,
- le taux de bonne détection des défauts de plus de 3 mm a été de 99,66 %,
- 5 - le temps moyen d'analyse d'images 270 mm x 160 mm a été de 0,43 s (environ 20 ms d'acquisition et 400 ms de traitement/-interprétation), ce qui est compatible avec un contrôle en temps réel. C'est même en dessous du temps théorique d'analyse qui avait été évalué à 0,54 s en tenant compte de la
- 10 vitesse de défilement maximum de 30 m/min. Or il s'est avéré que cette contrainte de vitesse maximale est pénalisante puisqu'elle ne se produit en pratique que pour des cas de très longues découpes rectangulaires, or l'expérience prouve que ce type de découpe ne possède jamais de défauts. On peut
- 15 donc prévoir d'améliorer si nécessaire la précision quant à la taille des défauts détectables puisqu'en pratique ces défauts n'apparaissent que sur des découpes pour lesquelles les vitesses de défilement sont inférieures au maximum précité.
- 20 Lorsque les découpes comportent des courbures, on utilise de préférence un procédé hybride mettant en oeuvre l'utilisation conjointe de la comparaison avec les données CAO, et de la classification par réseaux de neurones.
- Ceci est représenté à la figure 20.
- 25 Une règle de décision du type "la découpe est validée sans défaut si le nombre de segments d'une découpe par traitement d'images est très inférieur au nombre de segments de la découpe théorique et que le résultat par réseau de neurone est bon" permet une synthèse satisfaisante.
- 30 D'autres règles de décision peuvent être :
 - si le nombre d'angles consécutifs identiques de la découpe théorique est supérieur à un seuil prédéterminé, et que le résultat par réseau de neurones est bon, la découpe est validée correcte.
- 35 L'invention permet donc bien le contrôle des découpes effectuées par une machine telle que ACCESS.

numéro de l'image	rapidité en s	taux de fausse alarme sur 100
1	0,32	0
2	0,4	1
3	0,42	0
4	0,43	4
5	0,4	0
6	0,48	0
7	0,48	0
8	0,53	0
9	0,52	1
10	0,64	11
11	0,45	6
12	0,4	0
13	0,46	0
14	0,44	0
15	0,36	1
16	0,42	1
17	0,65	100
18	0,63	100

TABLEAU 1

REVENDECATIONS

1. Procédé de contrôle de découpes successives au moins approximativement polygonales effectuées par une machine de découpage dans un ruban (2, 13, 15) à partir de la donnée de découpes théoriques successives, selon lequel :

- on fait défiler les découpes sur un fond contrasté,
- on acquiert une succession d'images d'un champ englobant toute la largeur du ruban, avec une fréquence telle que deux images successives englobent des zones du ruban en défilement se recouvrant partiellement,
- on binarise l'image en associant à chaque point l'une des deux valeurs selon que sa luminance est supérieure ou inférieure à un seuil,
- on applique à cette image binarisée une extraction de contour par codage de FREEMAN,
- on identifie chaque contour,
- on sépare l'image en autant de fenêtres de traitement qu'il y a de contours fermés ou non,
- on effectue une approximation polygonale de chaque contour fermé ou non,
- on vectorise chaque segment de l'approximation polygonale en déterminant au moins l'angle entre deux segments successifs,
- on compare la succession des angles mesurés dans l'approximation polygonale à la succession des angles d'une approximation polygonale de la découpe théorique de même identification,
- on détecte un défaut si l'on ne trouve pas la succession d'angles mesurés dans la succession des angles de l'approximation polygonale de la découpe théorique de même identification.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'en outre :

- on réalise un réseau de neurones à N entrées, à trois couches et à une sortie,

dications 1 à 7, caractérisé en ce qu'on identifie chaque contour par comptage de découpes passant dans le champ de la caméra.

5 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que la vitesse de défilement du ruban étant de 30 m/min maximum, le temps d'acquisition de binarisation, d'extraction de contour, d'approximation polygonale et de comparaison est inférieur à 0,5 sec.

10 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que les découpes sont réalisées en composite de fibres de carbone unidirectionnelles accolées à un support blanc.

15 11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce qu'après vectorisation et avant comparaison on procède au remplacement par un vecteur unique tout couple de vecteurs successifs dont l'écart angulaire est inférieur à un seuil prédéterminé.

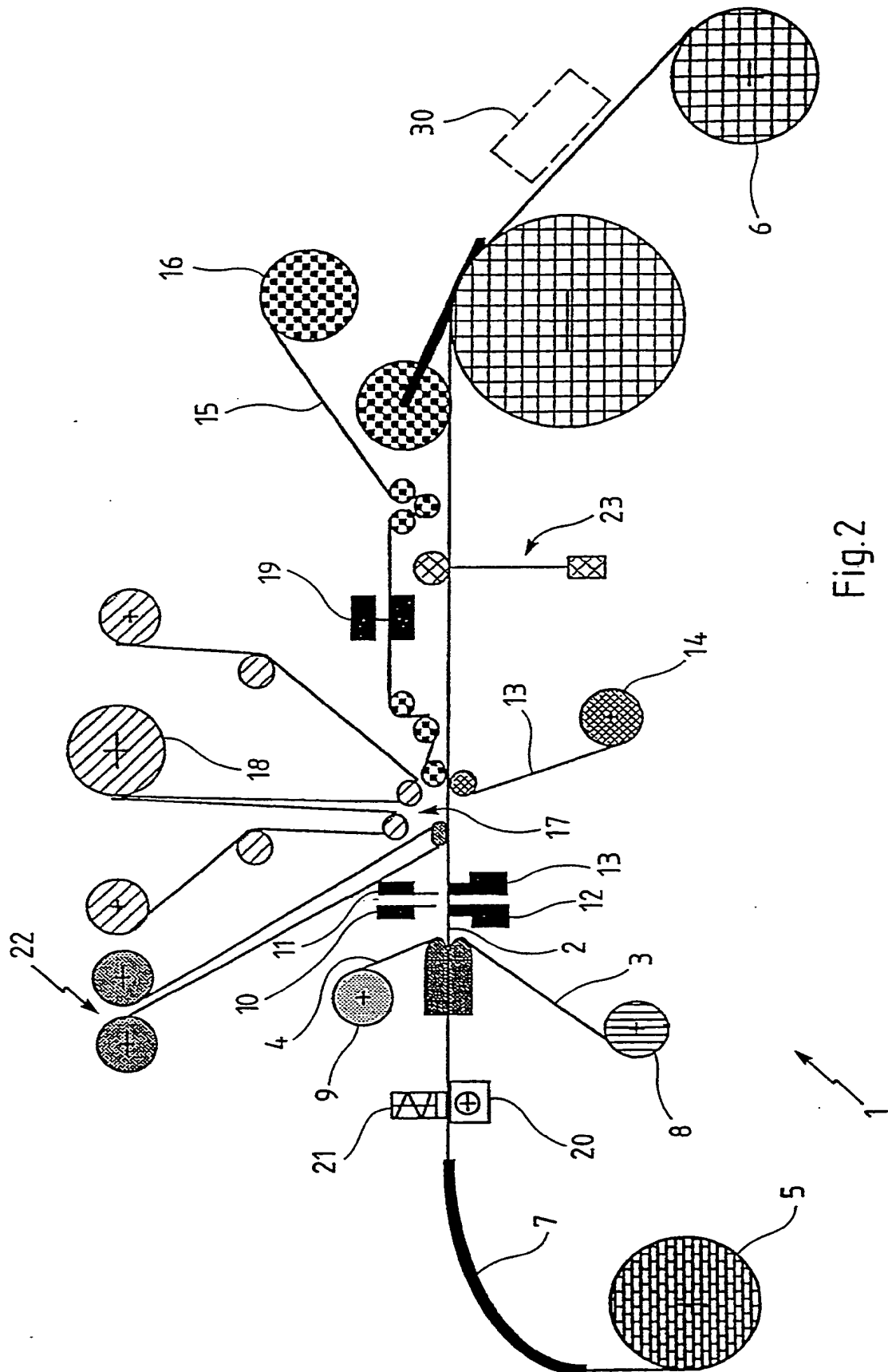


Fig.2

4/11

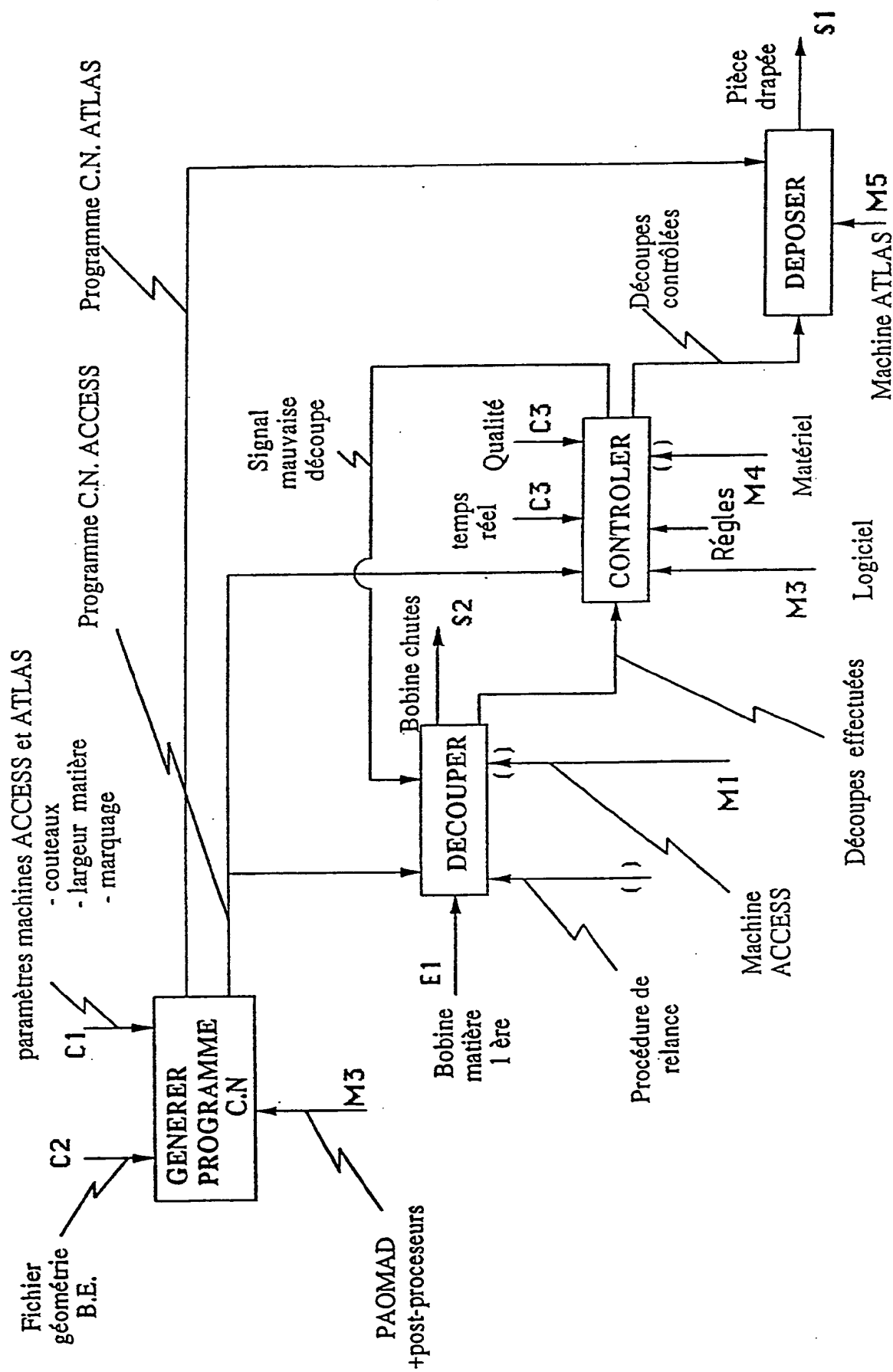


Fig.4

6/11

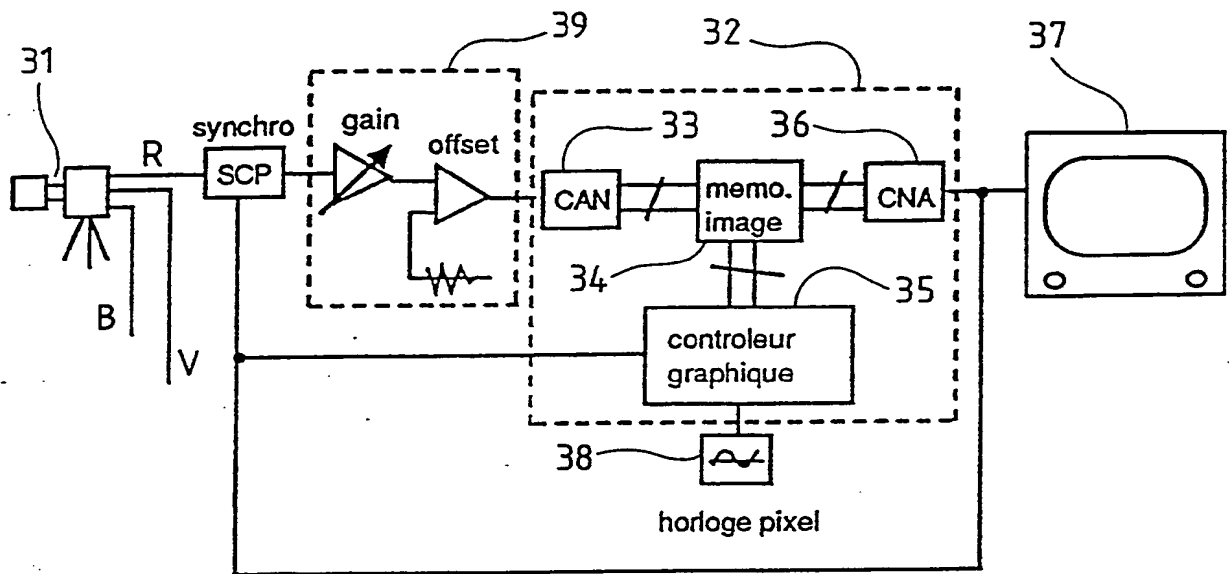


Fig.6

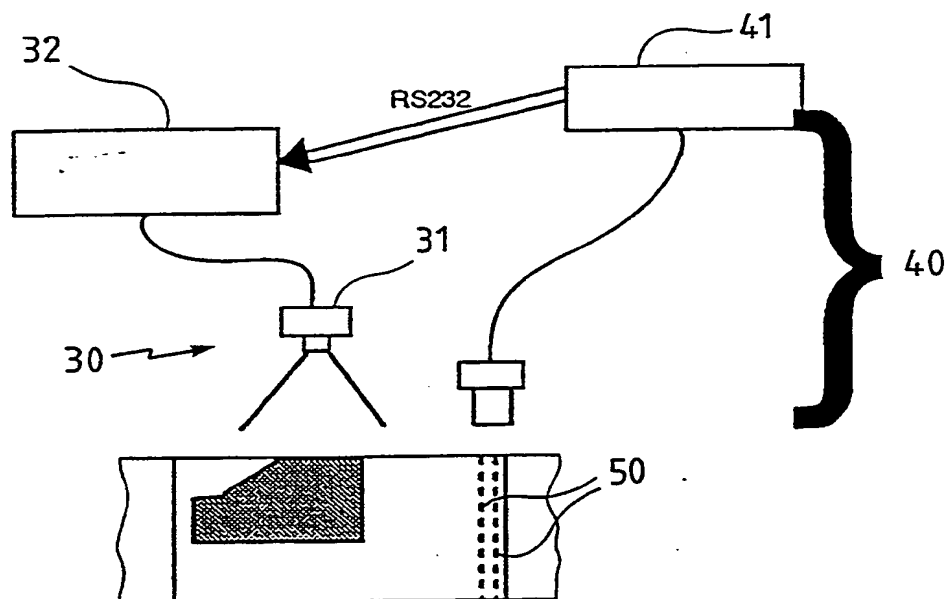


Fig.9

8/11

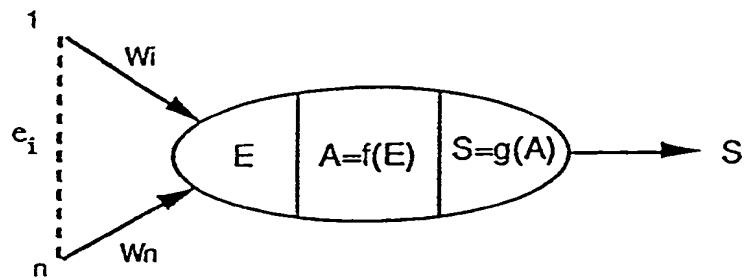


Fig.14

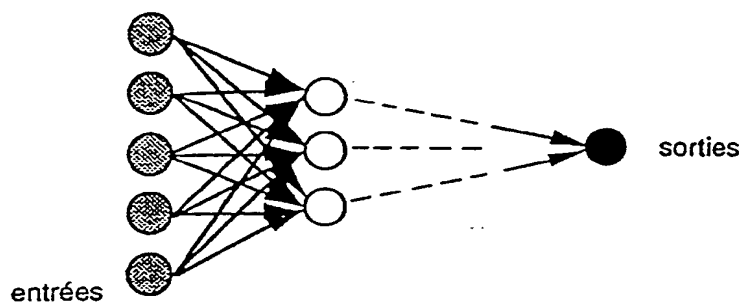


Fig.15

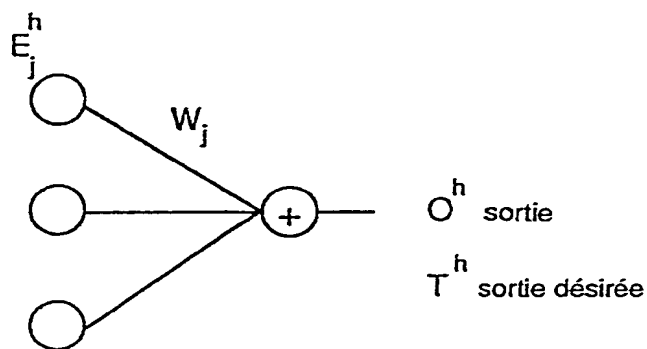


Fig.16

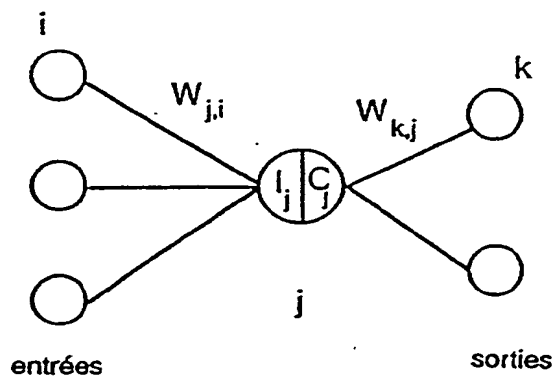
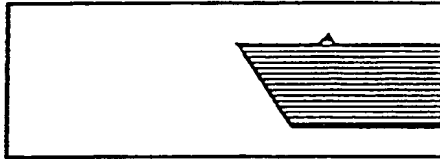
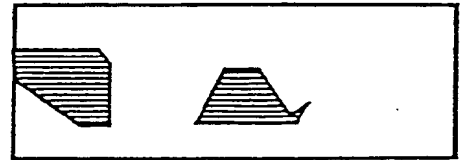
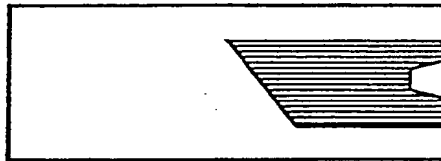
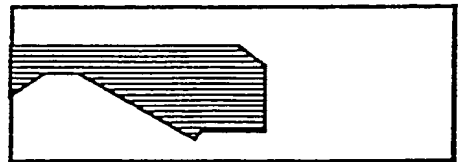
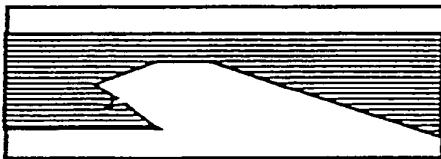
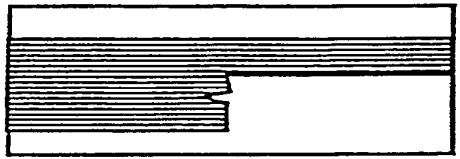
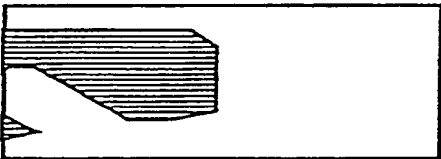
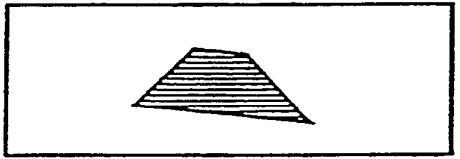
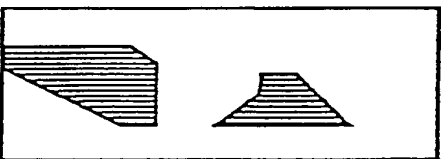


Fig.17

10/11

Fig.
19-1Fig.
19-6Fig.
19-2Fig.
19-7Fig.
19-3Fig.
19-8Fig.
19-4Fig.
19-9Fig.
19-5

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE
établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FR 9201339
FA 470592

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
Y	PATTERN RECOGNITION. vol. 22, no. 5, 1989, OXFORD, GB pages 567 - 575 , XP46532 MIN-HONG HAN ET AL. 'INSPECTION OF 2-D OBJECTS USING PATTERN MATCHING METHOD' * chapitres 1, 2 *	1
Y	US-A-4 773 098 (SCOTT) * colonne 12, ligne 45 - colonne 14, ligne 68; figures 9-13 *	1
A	COMPUTER VISION GRAPHICS AND IMAGE PROCESSING vol. 29, no. 2, Février 1985, DULUTH, MA US pages 216 - 247 F. ETESAMI 'Automatic Dimensional Inspection of Machine Part Cross-Sections Using Fourier Analysis' * abrégé *	2,3
A	IEEE REGION 5 CONFERENCE 1988: SCANNING THE PEAKS OF ELECTROTECHNOLOGY, MARCH 21- 23, 1988 COLORADO SPRINGS, COLORADO, USA, IEEE, NEW YORK, US pages 187 - 191 L. B. MOOREHEAD ET AL. 'A NEURAL NETWORK FOR SHAPE RECOGNITION' * paragraphe III-A *	2
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
		G06K G06F
Date d'achèvement de la recherche 29 OCTOBRE 1992		Examineur Michiel Sonius
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>		

1

EPO FORM ISO 03.92 (P0413)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.